EUCLIDES

TIJDSCHRIFT VOOR DE DIDACTIEK DER EXACTE VAKKEN

ONDER LEIDING VAN

J. H. SCHOGT EN P. WIJDENES

MET MEDEWERKING VAN

Dr. H. J. E. BETH
DEVENTER

Dr. E. J. DIJKSTERHUIS
OISTERWIJK

Dr. G. C. GERRITS
AMSTERDAM

Dr. B. P. HAALMEIJER
AMSTERDAM

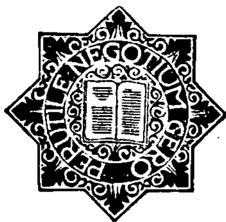
Dr. D. J. E. SCHREK
UTRECHT

Dr. P. DE VAERE
BRUSSEL

Dr. D. P. A. VERRIJP
ARNHEM

5e JAARGANG 1928/29, Nr. 2

MECHANICA-NUMMER



P. NOORDHOFF — GRONINGEN

Prijs per Jg. van 18 vel f 6.—. Voor inteekenaars op het Nieuw Tijdschrift voor Wiskunde en Christiaan Huygens f 5.—.

Euclides, Tijdschrift voor de Didactiek der Exacte Vakken, verschijnt in zes tweemaandelijksche afleveringen, samen 18 vel druks. Prijs per jaargang *f* 6.—. Zij, die tevens op het Nieuw Tijdschrift (*f* 6.—) of op „Christiaan Huygens" (*f* 10.—) zijn ingeteekend, betalen *f* 5.—

Artikelen ter opneming te zenden aan J. H. Schogt, Amsterdam-Zuid, Frans-van-Mierisstraat 112; Tel. 28341.

Het honorarium voor geplaatste artikelen bedraagt *f* 20.— per vel.

De prijs per 25 overdrukken of gedeelten van 25 overdrukken bedraagt *f* 3,50 per vel druks *in het vel gedrukt*. Gedeelten van een vel worden als een geheel vel berekend. Worden de overdrukken buiten het vel verlangd, dan wordt voor het afzonderlijk drukken bovendien *f* 6.— per vel druks in rekening gebracht.

Boeken ter bespreking en ter aankondiging te zenden aan P. Wijdenes, Amsterdam-Zuid, Jac. Obrechtstraat 88; Tel. 27119.

INHOUD

De redactie heeft het genoegen in deze aflevering het portret te geven van Prof. Dr. L. E. J. BROUWER; zij hoopt de portretten van al onze hoogleeraren den inteekenaars achtereenvolgens te kunnen aanbieden.

HET EXPERIMENTEEL GEORIENTEERDE ONDERWIJS IN MECHANICA.

DOOR

H. J. E. BETH.

In No. 6 van den 4den Jaargang van dit tijdschrift schrijft Dr. G. C. Gerrits in zijn opstel „Het onderwijs in de natuurkunde aan de Hoogere Burgerschool" over het experimenteel georiënteerde onderwijs in mechanica. Hij is van oordeel, dat men het leervak mechanica geweld aandoet, indien men het onderwijzen wil volgens de door de Commissie der Natuurkundige Vereeniging [1]) aanbevolen methode, dat dit onderwijs (door het ontbreken van de vereischte exactheid) de leerlingen nooit zal bevredigen en dat de door de Commissie gewenschte demonstraties het begrip slechts vaag tot den leerling doen komen (Euclides 4de Jgg„ p. 267).

Deze verklaring is van groote beteekenis, omdat zij komt van de zijde van een overtuigd physicus en niet van een man van de „Kreide- und Schwammphysik". Dit laatste blijkt duidelijk uit de volledige instemming, die hij betuigt (p. 259) met een belangrijk gedeelte van de voorstellen der Commissie; deze betuiging van instemming zal wel geen verrassing ingehouden hebben voor degenen, die het veel gebruikte leerboek van denzelfden schrijver kennen. Ook het feit, dat dit leerboek zóóveel gebruikt wordt, is van belang, omdat het grond geeft voor het vermoeden, dat de meening van Dr. Gerrits het gevoelen van vele vakgenooten weergeeft. En met dit vermoeden zullen we ons voorloopig tevreden moeten stellen, want, zoover mij bekend geworden is, hebben slechts weinigen behoefte gevoeld, over het belangrijke rapport der Commissie-Fokker een oordeel uit te spreken.

Indien niet een zoo gezaghebbend physicus, als Dr. Gerrits is, zich op zoo afdoende wijze over het experimenteel georiënteerde mechanica-onderwijs had uitgelaten, zou vermoedelijk schroom mij hebben weerhouden enkele beschouwingen omtrent dit punt ten

---

[1]) Rapport, uitgebracht aan het Bestuur van de Nederlandsche Natuurkundige Vereeniging. Wolters, 1928.

beste te geven. De uitspraken van Dr. Gerrits geven den indruk, op een rijkdom van ervaringen gegrond te zijn. Het zou mij verwonderen, indien niet vele collega's in deze ervaringen hunne eigene herkenden, zooals ik er de mijne in meen te herkennen. Ik deel dit gaarne mede, ook al, omdat de schrijver in zijn opstel (pag. 266) eenige verwondering doet blijken over het feit, dat de Commissie voor de Wiskunde zich na een bespreking met de Commissie-Fokker bereid had verklaard, een deel van den door haar voor de mechanica beschikbaar geachten tijd aan de natuurkunde af te staan. Naar aanleiding hiervan stelt hij de vraag, of onze Commissie wel een juist inzicht had in de beteekenis van de experimenteel-natuurkundig georiënteerde mechanica.

Ik meen deze laatste vraag in bevestigenden zin te mogen beantwoorden. Echter hebben wij ons bij de bespreking op het standpunt gesteld, dat wij verder moesten zien dan het wiskunde-onderwijs, en dat wij in het bijzonder niet de oogen mochten sluiten voor de groote moeilijkheid, waarin het natuurkunde-onderwijs verkeert door de omstandigheid, dat de hulp, die het van de zijde der mechanica verlangt, altijd *te laat* komt. Wij meenden onze medewerking niet te mogen onthouden aan het streven der Commissie-Fokker, deze moeilijkheid weg te nemen, ook al zou dit aan het onderwijs in de rationeele mechanica een lesuur moeten kosten. Hierbij moet bedacht worden, dat het de duidelijk uitgesproken bedoeling van de Commissie-Fokker is, dat de aangebrachte begrippen met een redelijken graad van exactheid worden geformuleerd; alleen de wiskundige inkleeding en de theoretische fundeering zouden tot de hoogere klassen worden uitgesteld. Waar het lesuur bij die voor natuurkunde werd gevoegd, lag het voor de hand, dat de natuurkundigen ervan gebruik maakten op *hunne* wijze. Voor *ons* was het voldoende, indien de resultaten aantoonden, dat er een voldoende basis werd gelegd voor het verdergaand mechanica-onderwijs. Ik ben nog steeds van oordeel, dat op deze wijze door weinig ingrijpende wijziging in het bestaande leerplan een oplossing gevonden was, die wellicht niemand geheel voldeed, maar die nochtans een belangrijk voordeel had kunnen brengen voor het natuurkunde-onderwijs zonder het mechanica-onderwijs te ontwrichten. Met groote teleurstelling heb ik dan ook kennis genomen van het besluit van de op 19 Mei te Amsterdam door de Nederlandsche Natuurkundige Vereeniging gehouden ver-

gadering, waarin de doodstraf voor de rationeele mechanica werd geëischt.

Nu de zaken zoo geloopen zijn en de mechanica, indien het Bestuur der voornoemde Vereeniging met haar aan den Minister van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen aangeboden adres [1]) succes heeft, als een onderdeel der proefondervindelijke natuurkunde zal worden gedoceerd, acht ik me gerechtigd een korte beschouwing te wijden aan de behandeling van de mechanica op empirisch-inductieven grondslag.

Om misverstand te vermijden, stel ik vooraf vast, dat het daarbij *niet* mijne bedoeling is, het Rapport der Studie-commissie te bestrijden; dit is onnoodig, daar wij staan op hetzelfde standpunt: wij beschouwen *beiden* een inleidend onderwijs op empirischen grondslag als gewenscht; wij willen *beiden* dit onderwijs beschouwd zien als inleiding tot de natuurkunde èn tot de mechanica, zooals de laatste in een verder gelegen stadium zal worden behandeld. Echter wil ik bestrijden de meening van het Bestuur der Nederlandsche Natuurkundige Vereeniging, volgens welke dit inleidend onderwijs tevens het *eind*-onderwijs in de mechanica op de H. B.-scholen behoort te zijn.

Het is daarom van belang na te gaan, wat men met het onderwijs op empirisch-inductieven grondslag zou kunnen bereiken, en om welke redenen men het bereikte resultaat slechts als een voorloopig mag aanmerken. Het Bestuur heeft, zoover mij bekend geworden is, niet nader uiteengezet, hoe het zich het te geven mechanica-onderwijs voorstelt. Ik zal mij daarom in hoofdzaak bepalen tot het inleidend onderwijs in de mechanica (en de natuurkunde), zooals dit *thans* veelal in de eerste maanden van het 3de studiejaar gegeven wordt, en dit als uitgangspunt kiezen voor de volgende beschouwingen.

Bij dit onderwijs dan hebben we te bedenken, dat de leerlingen op het gebied der bewegingsleer van hun vroegste jeugd af vele ervaringen verworven hebben en dat zij daarover reeds een grooten voorraad begrippen bezitten. *Het onderwijs zal hierbij hebben aan te sluiten.* Ik geloof, dat de wiskundeleeraar, van wien het meergenoemde Bestuur vreest, dat hij de „paedagogische fout begaat,

---

[1]) Zie Weekblad voor Gymn. en Midd. Onderwijs, 24e Jgg. No. 42 (pag. 1419).

door te veel de axiomatische; abstracte zijde naar voren te brengen, niet genoeg aansluiting te zoeken bij datgene, wat de leerlingen het naaste ligt, n.l. de ervaring"; hiervan even vast overtuigd is als de natuurkundige. Ik begrijp niet, op welke overwegingen deze vrees zou steunen. De wiskundeleeraar brengt toch ook bij het *aanvankelijk wiskunde*onderwijs niet de axiomatische zijde naar voren? Ook dáárbij zoekt hij toch aansluiting bij datgene, wat den leerling door ervaring, door herhaald oefenen, enz., eigen geworden is? Zijn doel is slechts de aanwezige voorstellingen te fixeeren en de gebruikte termen te preciseeren, en de voorhanden begrippen aan te vullen en tot een stelsel te vereenigen. Op deze handelwijze past m.i. de aanduiding „de axiomatische, abstracte zijde naar voren brengen" in het geheel niet. Wèl is het het streven van den wiskundeleeraar, het exacte woordgebruik naar voren te brengen, en, naarmate de leerlingen voortgeschreden zijn in ontwikkeling, het doen van een beroep op de ervaring te beperken. Het is te verwachten, dat hij het *aanvankelijk* onderwijs in *mechanica* in denzelfden geest zal geven.

Zal echter ook niet de natuurkundeleeraar de behoefte gevoelen aan fixeering van voorstellingen en een nauwkeurige omschrijving van de begrippen, die naar aanleiding van die voorstellingen zijn gevormd? Een verschil tusschen den wiskundeleeraar en den natuurkundeleeraar bestaat hier in het geheel niet.

De bespreking van de reeds voorhanden begrippen doet herhaaldelijk zien, dat de uit onopzettelijke ervaring geputte kennis onvolledig is; bovendien blijkt, dat naast denkbeelden, die slechts nauwkeuriger behoeven te worden opgebouwd, andere bij den leerling aanwezig zijn, die met zorg moeten worden uitgeroeid; als voorbeeld van de laatste noem ik het ingeworteld menschelijk geloof aan de evenredigheid van kracht en snelheid. Uit dit alles blijkt, dat bij het aanvankelijk onderwijs in de mechanica op drie dingen zal moeten worden gelet: 1°. op aanvulling van de kennis der bewegingsverschijnselen met behulp van geschikt gekozen experimenten; 2°. op het bijbrengen van de eigenlijke beteekenis van de vele mechanische termen, die de leerling in het dagelijksche leven achteloos gebruikt; 3°. op het schenken van de overtuiging, dat veel, wat de leerling, zonder er over te hebben nagedacht, of op grond van ruwe ervaring, voor waar houdt, bij nauwkeuriger beschouwing en exacter woordgebruik onwaar moet heeten.

De voor de hand liggende methode, volgens welke de leeraar zich van zijn taak zal beginnen te kwijten, is de empirisch inductieve; dit volgt reeds uit de beschrijving van het doel, dat wordt nagestreefd. We zullen hem een eindweegs volgen, om te zien, welke moeilijkheden hij zal ontmoeten. Er zou nog veel te zeggen zijn over de vraag, of hij met de kinematica dan wel met de statica beginnen zal; daar ik mij zal hebben te beperken, zwijg ik thans hierover geheel, en ga ik uit van de onderstelling, dat hij begint met de zuivere bewegingsleer.

Van de betrekkelijkheid der begrippen rust en beweging zal hij weinig kunnen maken, aangezien alleen van het vlakke coördinatenstelsel eenige oppervlakkige kennis kan worden ondersteld. De docent zal zich bepalen tot een ruwe aanduiding van het vraagstuk, en tot het geven van een enkel voorbeeld, aan dagelijksche ervaring ontleend. Hij zal hierna overgaan tot de behandeling der beweging van een stoffelijk punt, en wel in de eerste plaats van de eenparige beweging. Hoewel deze naam den leerlingen niet bekend is, is het begrip der eenparige beweging hun eigendom, en zoodra hun de bedoeling is aangeduid, bewijzen zij door het noemen van meerdere voorbeelden, dat zij die bedoeling begrijpen. Door den afgelegden weg en den verloopen tijd in de beschouwing op te nemen, zal het hun zelfs gelukken, het begrip op behoorlijke wijze te definieeren. De vergelijking van verschillende eenparige bewegingen voert vanzelf tot het begrip „snelheid eener eenparige beweging", waarbij het meten van grootheden en het kiezen van eenheden ter sprake komt. Dit alles, alsmede het in vergelijking brengen der eenparige beweging, biedt geen bijzondere moeilijkheid. Deze ontstaat echter reeds spoedig, n.l. wanneer men het begrip „snelheid op een zeker oogenblik van een veranderlijke beweging" wil aanbrengen, en dit begrip zal men niet kunnen ontberen, indien men wil kunnen overgaan tot de eenparig veranderlijke beweging. Deze moeilijkheid is niet alleen groot; zij is *niet* te overwinnen voor de leerlingen in het begin der 3de klasse. De snelheid op een zeker oogenblik wordt n.l. in een mathematische beschrijving der bewegingsverschijnselen voorgesteld door een differentiaalquotient, hoe halsstarrig men ook moge weigeren, dit te erkennen. De definitie, dat die snelheid is „de snelheid der eenparige beweging, waarin de veranderlijke beweging zou overgaan, indien de snelheid niet meer veranderde" kan niet als een

ernstige poging beschouwd worden om de moeilijkheid te overwinnen; immers zij zegt slechts, zooals men het wel eens treffend heeft uitgedrukt, dat die snelheid is, wat zij worden zou, indien zij bleef, wat zij was. Veel kwaad kan men stichten door haar te definieeren als de gemiddelde snelheid over een héél klein tijdsverloop, dat op het bedoelde tijdstip volgt of eraan vooraf gaat, en nog veel grooter kwaad door in dit verband over een oneindig kleinen tijd te spreken; de leerlingen, die zich hiermede tevreden stellen, zullen later veel moeten àfleeren voordat zij zuivere begrippen kunnen deelachtig worden. Nu moeten we bedenken, dat de leerlingen wel een vaag vermoeden hebben omtrent de bedoeling, die men heeft, indien men spreekt over de „geleidelijk grooter wordende snelheid" van een vrij vallend lichaam. Het schijnt mij beter, hierin te berusten en liever geen definitie te geven dan een foutieve. Men zal er echter de leerlingen op moeten wijzen, dat thans over dingen gesproken wordt, die eerst later behoorlijk kunnen worden gedefinieerd.

Hierna zal worden overgegaan tot de eenparig veranderlijke beweging en het begrip versnelling bij een eenparig versnelde *rechtlijnige* beweging. Het behoeft n.l. geen betoog, dat voor het algemeene versnellingsbegrip de tijd nog niet gekomen is. Niet alleen het limietbegrip moet omzeild worden; ook voor vectorrekening zijn de leerlingen nog niet rijp. Ik moet er hier op wijzen, dat de thans reeds genoemde moeilijkheden, die alle het gevolg zijn van de geringe wiskundige kennis der leerlingen aan het begin der 3de klasse, óók door experimenten niet kunnen worden overwonnen. Men zal mij willen toegeven, dat de experimenteele behandeling van de eenparige cirkelbeweging en van de slingerbeweging, die men hier wellicht zou willen geven, niet anders dan een voorbereiding kan zijn.

Ik kom thans tot de vraag, welke beteekenis aan de demonstraties bij het onderwijs toekomt. Men is gewoon de noodzakelijkheid van het experiment aan te toonen door middel van de volgende 3 overwegingen:

1°. Een proefondervindelijke wetenschap moet met behulp van proefnemingen onderwezen worden.

2°. Men moet de leerlingen eraan gewennen, alleen geloof te hechten aan dàtgene, wat zij met eigen oogen gezien hebben.

3°. Alleen, wat zij zelf hebben kunnen waarnemen, dringt goed tot hun begrip door.

Bezien wij deze 3 punten nader. In het Rapport van de Studie-Commissie voor Natuurkunde lezen we op pag. 6: „De weg waarlangs de leerling bij het onderwijs in natuurkunde tot kennis komt, moet in wezen dezelfde zijn als waarlangs de natuurkundige wetenschap tot kennis komt." Wanneer ik hierbij zou mogen voegen de woorden „in het algemeen" na „in wezen" en deze beide laatste woorden dubbel onderstreepen, dan zou ik er geen bezwaar tegen behoeven te hebben.

De vraag of uit het eerste der genoemde argumenten kan worden geconcludeerd, dat de mechanica dus ook in hoofdzaak aan de hand van experimenten moet worden onderwezen, zal ik laten rusten, daar ze in een afzonderlijk artikel in dit nummer zal worden behandeld.

Wat het tweede argument betreft: het voorschrift, dat de leerlingen *wantrouwen* moeten alles, wat zij niet zelf hebben waargenomen, schijnt mij hoogst bedenkelijk. In de eerste plaats, omdat men, indien men het voorschrift met eenige nauwkeurigheid zou willen opvolgen, aanstonds zou ondervinden, dat elk onderwijs onmogelijk werd. Wat men kan laten zien is ook onder de gunstigst denkbare omstandigheden gering tegenover de kennis, die men aanbrengen wil. Ik meen, dat dit niemand behoeft te verontrusten; het „aannemen op gezag" is niet zoo verachtelijk als het wel eens wordt voorgesteld, en de leerlingen, die veel zullen geloofd hebben ook zonder dat zij gezien hebben, zijn volstrekt niet voorbestemd, naprater te worden. Dat de leerling voldoende vertrouwen in de kunde en de rechtschapenheid van zijn leeraar heeft om te aanvaarden, wat deze als vaststaand mededeelt, kan ik niet anders dan normaal achten. Van de 3 genoemde argumenten vind ik dit tweede het zwakste.

Ook de meening, dat de leerlingen alleen datgene goed *begrijpen*, wat zij hebben kunnen waarnemen, kan ik niet deelen. Ik wil niet tegenspreken, dat er vele zaken zijn, die duidelijker worden door het experiment; maar de behoefte aan „zien" is bij de verschillende leerlingen zéér verschillend. Bovendien geloof ik, dat er vele experimenten worden uitgevoerd, die beter kunnen dienen om de zaak duister te maken dan om haar te verhelderen; ik heb de overtuiging, dat dit plaats heeft, zoo vaak als men door zéér

ingewikkelde apparaten zéér begrijpelijke en aannemelijke waarheden demonstreert. Voorts zijn de omstandigheden, onder welke men experimenteert, dikwijls zoo ver verwijderd van de ideale, die men aanwezig onderstelt, dat er afwijkingen ontstaan van zoodanige afmetingen, dat de ongelukkige leerling, die niet „op gezag" gelooven kan, zijn wantrouwen voelt groeien.

Ik zeg dit alles niet, omdat ik alle experimenten uit den booze zou achten; integendeel, ik ben op grond van de gedurende vele jaren opgedane ervaringen overtuigd van het nut, dat van een *wel overwogen* gebruik van demonstraties in het physica-onderwijs kan uitgaan. Maar ik wilde waarschuwen voor overschatting en voor overdrijving. De beste hulpmiddelen zijn de meest primitieve; de meest vruchtdragende demonstraties zijn de eenvoudigste; een te veel aan demonstraties werkt schadelijker dan een te weinig. Overigens zal het in hooge mate van de persoonlijkheid van den docent afhangen, of hij beter niet dan wel zonder veel experimenten kan doceeren.

Met de bespreking van het inleidend mechanica-onderwijs was ik gekomen tot de rechtlijnige eenparig versnelde beweging. Nu over de „snelheid na *t* seconden" kan worden gesproken, kan zonder bezwaar de formule voor de snelheid als functie van den tijd worden opgesteld. Hierna kan men, met een voor klasse III bevredigenden graad van exactheid, door beschouwing van de snelheidsgraphiek de formule afleiden, die den afgelegden weg als functie van den tijd geeft. Men heeft blijkbaar algemeen de behoefte gevoeld om, wat hier bewezen wordt langs mathematischen weg, met behulp van experimenten te bevestigen. Of wel, men heeft de wiskundige afleiding door een experiment willen vervangen. Ik kan niet inzien, dat men op deze wijze de leerlingen beter van de waarheid der bewering overtuigt; evenmin, dat men er hun de zaak duidelijker door zou maken. Dit laatste kan ik vooral niet inzien, indien men voor de demonstratie zich bedient van het apparaat, dat men gedurende vele jaren vermoedelijk vrij algemeen voor dit doel heeft gebezigd; op grond van verschillende overwegingen, van welke ik er in het voorgaande reeds enkele noemde, acht ik het experiment met de toestel van Atwood geheel verwerpelijk. Het experiment met het onder verschillende hellingen op te stellen vlak is beter voor het doel geschikt, hoewel verre van ideaal.

Bij de nu volgende bespreking van den vrijen val schijnen mij

enkele demonstraties op haar plaats, niet zoozeer, omdat de wetten, volgens welke het verschijnsel verloopt, zonder die demonstraties niet zouden kunnen worden begrepen, nog minder, omdat men daarbij den historischen weg zou volgen; maar omdat men hier voor het eerst aanleiding heeft, de leerlingen bekend te maken met de wijze, waarop men een natuurverschijnsel onderzoekt, n.l. door dat verschijnsel te laten verloopen onder door ons gekozen omstandigheden, waardoor ook de mogelijkheid van het verrichten van metingen geschapen wordt.

Ik zal echter deze beschouwing van het inleidend mechanica-onderwijs niet verder behoeven voort te zetten. Het is reeds duidelijk, dat, waar men het begrip versnelling alleen heeft kunnen aanbrengen voor de eenparig veranderlijke *rechtlijnige* beweging, men van het begrip kracht niet veel zal kunnen terecht brengen. De praktijk is dan ook, dat men in de 3de klasse vrij spoedig de mechanische inleiding doet eindigen. Zonder twijfel wordt dit mede veroorzaakt door de omstandigheid, dat er onder alle leervakken, die op de Hoogere Burgerschool onderwezen worden, geen enkel zoozeer lijdt aan het euvel van tijdsgebrek als juist de natuurkunde. Maar ook indien men tijd in overvloed had, dan zou men de geschetste moeilijkheden niet kunnen overwinnen; de experimenten stellen ons alleen in staat, sommige eenigszins te verbergen. Indien men niet met de kinematica, doch met de statica begint, dan ontmoet men dezelfde moeilijkheden in andere volgorde, sommige in anderen vorm.

Meer dan een onbevredigende inleiding kan het mechanica-onderwijs in de 3de klasse nooit zijn.

Hiermede wil ik natuurlijk niet zeggen, dat het dan maar liever achterwege gelaten kan worden. Immers het vervult een bepaalde taak: het vormt de inleiding tot het eigenlijke natuurkunde-onderwijs; het vervult die taak niet al te slecht, doch zou haar veel beter kunnen vervullen, indien men over meer tijd de beschikking had, al zouden ook hierdoor de bedoelde moeilijkheden, die *niet* van tijdsgebrek een gevolg zijn, blijven bestaan.

Naar mijn meening moet het echter tevens zijn de inleiding in een mechanica-onderwijs in de hoogere klassen volgens een in hoofdzaak andere methode, en waar de wetenschap van den beginne af met den *bereikbaren* graad van exactheid wordt opgebouwd. Hierover loopt n.l. het meeningsverschil: niet over het

inleidend onderwijs in de 3de klasse, maar over de vraag of dit onderwijs, indien mogelijk, in denzelfden trant voortgezet in de 4de klasse, tevens het eind-onderwijs zal zijn.

Het reeds geschetste onderwijs is niet zonder beteekenis, en ik geloof gaarne, dat indien het werd voortgezet in denzelfden geest in de hoogere klassen, vele onderwerpen, die op andere wijze slechts met groote moeite of in het geheel niet kunnen worden behandeld, zouden blijken een minder veeleischende en toch wel leerzame bespreking toe te laten aan de hand van proeven en met een minimaal gebruik van het wiskundige materiaal. Indien de wiskundige ontwikkeling, die bereikt kan worden aan het einde der 3de klasse, niet voldoende zou kunnen zijn om de verschillende boven aangeduide moeilijkheden te overwinnen, dan zou men inderdaad met de bedoelde wijze van behandeling genoegen moeten nemen. Daar ik echter de overtuiging bezit, dat de wiskundige ontwikkeling der leerlingen *niet* een beletsel behoeft te zijn, om de zaken, die in het inleidend onderwijs niet tot hun recht konden komen, opnieuw, en dan in redelijk exacten vorm, opnieuw aan de orde te stellen, meen ik, dat het karakter van onze H. B.-scholen die nauwkeuriger behandeling gebiedend voorschrijft.

Ik kan n.l. niet het beginsel laten varen, dat aan de leerlingen eener H. B. S. op wetenschappelijk gebied de eischen mogen en moeten worden gesteld, die in het Ontwerp-Leerplan voor Wiskunde, Mechanica en Kosmographie van de commissie, waarvan ik eer heb, voorzitter te zijn, nader zijn omschreven. Ik meen, dat die eischen *mogen* worden gesteld op grond van de ervaring, dat ze bij normaal aangelegde leerlingen bij voldoende krachtsinspanning te verwezenlijken zijn; dat ze *moeten* worden gesteld is een noodzakelijk gevolg van den aard der H. B.-scholen. Daarbij denk ik niet in de eerste plaats aan het feit, dat de H. B.-school ook de taak van school voor Voorbereidend Hooger Onderwijs heeft te vervullen, met het oog waarop aan de degelijkheid der grondslagen, die zij legt, nooit tè groote zorg kan worden besteed. Ik meen echter, dat met dit feit terdege rekening moet worden gehouden, en dit kan met des te meer gerustheid worden aanbevolen, omdat een verhooging van het wetenschappelijk peil van het onderwijs óók (en wellicht in niet *mindere* mate) in het belang is van hen, die van de H. B. S. een voorbereiding voor een maatschappelijke loopbaan vragen, en die meer gebaat zijn met ontwikkeling

van hun intellectueele vermogens dan met de kennis van veel wetenswaardigheden.

Ten slotte komt alles neer op de vraag, hoe men zich de H. B. S. denkt, en wat men van haar verwacht; het is niet zoozeer een didactische als wel een maatschappelijke vraag. Wil men haar de grondslagen ontnemen, waarop de „rechten" steunen, die zij op eervolle wijze verworven heeft, en haar vervormen tot een school voor „algemeene ontwikkeling", zooals dat gewoonlijk verstaan wordt, dan kan de meer theoretische behandeling der mechanica gevoegelijk achterwege blijven en men kan den daardoor gewonnen tijd voor andere onderwerpen besteden. Men kan dan actueele onderwerpen aan de orde stellen, naar welke de natuurlijke belangstelling der leerlingen uitgaat, zoodat zij weten, wat er op dit oogenblik te koop is. Ik vrees echter, dat men daarbij niet verder komt dan tot een oppervlakkig doen kennis nemen van feiten, tot het wekken van vage vermoedens en het vormen van onscherpe begrippen; alles dingen, waaraan de leerling in zijn verder leven bitter weinig heeft.

Wil de H. B. S. echter blijven, wat zij m. i. steeds heeft trachten te zijn, dan moet zij de grondslagen van de vakken, die zij onderwijst, met de bereikbare wetenschappelijke nauwgezetheid behandelen, en de bovenste grens van wat ze bereiken kan, zal bepaald worden door het hoogste niveau, waarop zij, van den grond af degelijk opbouwend, komen kan; zij mag geen genoegen nemen met het oppervlakkig succes, dat de belangstelling slechts prikkelt en niet verzadigt.

In de juist verschenen aflevering van het „Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht aller Schulgattungen" schrijft Dr. M. Minnaert (pag. 361) in een bericht over „Der physikalische Unterricht an den höheren Schulen in Holland" het volgende: „Typische Züge des holländischen Charakters sind die Liebe für das Solide, Gediegene, die Abneigung gegenüber leeren Schlagwörtern. Vielleicht kann man daraus verstehen, dasz die holländischen Schulen sich nur verhältnismäszig spät an der neueren Reformbewegung im physikalischen Unterricht beteiligt haben und fortfuhren mit einem Unterricht im älteren Stil, der doch relativ ganz vorzüglich war". Toen ik dezen aanhef las, dacht ik: „hiermee kunnen de menschen der Reformbewegung het voorloopig wel doen!", maar verder lezende zag ik spoedig,

dat Dr. Minnaert van de bedoelde voorstellen een overtuigd vóórstander is. Echter geloof ik, dat hij volkomen gelijk heeft met zijn uitspraak, gedaan in den eersten volzin, en met de onderstelling, uitgesproken in den tweeden. Ik krijg den indruk, dat vele vakgenooten als gevolg van een uitvoering van een deel der, uitstekend bedoelde, plannen verslapping en vervlakking van het onderwijs vreezen. Ook heeft Dr. Minnaert goed geprofeteerd, toen hij naar aanleiding van het voorstel, volgens hetwelk de mechanica als afzonderlijk leervak „beschränkt oder besser ganz gestrichen" zou worden, schreef: „Diese Neuerung wird sicher durch die konservativen Strômungen sehr bekämpt werden, vor allem durch die Lehrer der Mathematik". Over de natuurkunde-leeraren wil ik niet oordeelen; in het algemeen lijken zij echter verdacht veel op de wiskundeleeraren. Maar onder de wiskunde-leeraren geloof ik inderdaad, dat er vele conservatieven zijn in den door Dr. Minnaert bedoelden zin. Ik blijf gaarne een der hunnen, omdat ik het van groot belang acht, dat, wat ook veranderen moge, het *Solide und Gediegene* in ons onderwijs *behouden* blijve.

H. J. E. Beth.

DE AANSLAG OP DE MECHANICA.

DOOR
E. J. DIJKSTERHUIS.

Het vraagsuk van de hervorming van het onderwijs in Physica, waaraan een commissie, ingesteld door de Nederlandsche Natuurkundige Vereeniging en geleid door Prof. Dr. A. D. Fokker, reeds sinds geruimen tijd haar krachten wijdt, is enkele maanden geleden in een geheel nieuw en onverwacht stadium gekomen, doordat het Bestuur van de Nederlandsche Natuurkundige Vereeniging zich heeft gewend tot den Minister van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen met een adres, waarin wordt voorgesteld, op de H. B. S. met 5-jarigen cursus de Mechanica als afzonderlijk leervak te schrappen en op te nemen in het leervak Natuurkunde [1]). Door dezen stap toch is het Bestuur op een cardinaal punt (want welke factor kan bij de samenstelling van een leerplan belangrijker worden geacht dan het aantal beschikbare lesuren?) afgeweken van het rapport der door de Vereeniging ingestelde studiecommissie, die had voorgesteld, het onderwijs in de Mechanica als afzonderlijk leervak te beperken tot twee uur en het aantal der voor de Physica beschikbare uren dus met twee uit te breiden [2]) en die tot dit voorstel was gekomen na zorgvuldig onderzoek en na overleg met de Commissie, die van het College van Inspecteurs de opdracht heeft ontvangen, een hervorming voor te bereiden van het onderwijs in Wiskunde, Mechanica en Kosmosgraphie op de H. B. S. met vijfjarigen cursus. Het Bestuur deed dien stap op grond van besprekingen, gehouden in een vergadering der Vereeniging, waar de overgroote meerderheid der aanwezigen zoo overtuigd bleek van de wenschelijkheid, de mechanica als afzonderlijk leervak te schrappen, dat ze het niet noodig oordeelde, een nader onderzoek in te stellen naar de beteekenis, die dit vak voor het H. B. S.-onderwijs thans heeft en nog minder naar die, welke het zou kunnen ver-

---

1) Physica, VIII, 181—184.
2) Het onderwijs in de Natuurkunde aan Gymnasia, Hoogere Burgerscholen en Lycea; Rapport uitgebracht aan het Bestuur van de Nederlandsche Natuurkundige Vereeniging. J. B. Wolters, Groningen, Den Haag, 1928; blz. 32—37.

krijgen, wanneer de voorstellen van de Commissie-Beth mochten worden verwezenlijkt.

Men kan niet zeggen, dat de atmospheer, waarin de voorbereiding van de zoo belangrijke a.s. hervorming van het H. B. S.-onderwijs in wis- en natuurkunde plaats vindt, door dit alles is veraangenaamd. Afwijkende van de gematigde en bij alle vastheid van beginsel toch tot redelijke schikkingen geneigde houding van de Commissie-Fokker heeft het Bestuur van de Nederlandsche Natuurkundige Vereeniging zich op zoo extremistisch standpunt geplaatst en heeft het zoo duidelijk getoond, slechts oog te hebben voor de belangen van het physica-onderwijs in engeren zin, dat de hoop op vruchtbaarheid van gedachtenwisseling welhaast ijdel is geworden.

Wanneer ik niettemin meen, tot dit aan de bedreigde Mechanica gewijde nummer van Euclides een kleine verhandeling te moeten bijdragen, dan doe ik dat niet zoo zeer in de illusie, dat ik er toe zal kunnen medewerken, het Bestuur van de Nederlandsche Natuurkundige Vereeniging ervan te overtuigen, dat de verwezenlijking van de wenschen der Vereeniging inzake de Mechanica niet in het belang van het H. B. S.-onderwijs zou zijn, dan wel op grond van de begrijpelijke nieuwsgierigheid, eens de vraag onder de oogen te zien, met welke argumenten het die wenschen eigenlijk tegenover den Minister heeft toegelicht. De ontwikkelde argumentatie nu blijkt neer te komen op het volgende:

> „Het komt onze Vereeniging voor, dat de mechanica ook op de H. B. S. behoort te zijn, wat zij overal en ten allen tijde geweest is, nl. een onderdeel van de natuurkunde en tevens één harer grondslagen. Wij geven dus in overweging, zoowel het vak als de daarvoor uitgetrokken uren bij de natuurkunde onder te brengen." [1])

terwijl in de toelichting nog wordt opgemerkt, „dat de mechanica .... zooals andere deelen der natuurkunde ook een sterk proefondervindelijk karakter (heeft)".

In deze passage heeft één uitdrukking in het bijzonder mijn aandacht getrokken en het is dan ook aan haar, dat ik de volgende bladzijden wil wijden. De Mechanica, zegt het Bestuur, is overal en ten allen tijde een onderdeel der Natuurkunde geweest.

---

[1]) L. c. 183.

Ik moet beginnen, met te erkennen, dat dit volkomen juist kan zijn. Wanneer men onder Natuurkunde verstaat de studie van de verschijnselen, welke de Natuur ons aanbiedt, dan is het, ook zonder dat we naar de juiste beteekenis van het woord „Natuur" vragen, duidelijk, dat de studie van de verschijnselen van beweging en evenwicht, die men Mechanica pleegt te noemen, tot de Natuurkunde behoort. Het is evenzeer duidelijk, dat de Chemie een onderdeel van de Natuurkunde is en men zal in onzen tijd wel niet meer voor tegenspraak beducht behoeven te zijn, indien men ook de Meetkunde als een van hare takken beschouwt.

Is het echter de bedoeling van het Bestuur van de Nederlandsche Natuurkundige Vereeniging geweest, dit tegenover de Minister uit te spreken? Het lijkt mij nauwelijks denkbaar. Vooreerst al niet, omdat men niet goed kan inzien, welk belang er zou hebben kunnen liggen in het opstellen van de overbodige tautologie, dat de natuurkunde de kennis van de natuur beoefent. En verder niet, omdat men dan niet begrijpt, waarom juist wordt voorgesteld, het onderwijs in Mechanica en niet dat in Chemie of Meetkunde aan den Natuurkunde-leeraar op te dragen.

Wat is de bedoeling dan geweest? Blijkbaar deze, dat het onderwijs in Mechanica moet worden vrijgemaakt uit de mathematische spheer, waarin het tegenwoordig op de H. B. S. verkeert en moet worden binnengeleid in het milieu der experimenteele physica, omdat ze ten allen tijde in dat milieu heeft thuis gehoord, m. a. w. dat de mechanica is ontstaan als experimenteele natuurwetenschap, dat ze dat overal en ten allen tijde is geweest en dat ze alleen in Nederland door een rampzalige aberratie op den dwaalweg der mathematische behandeling is geraakt. Zoo beschouwd, past de uitgesproken bewering volkomen bij de beginselverklaring van de Commissie-Fokker, volgens welke „de weg, waarlangs de leerling bij het onderwijs in natuurkunde tot kennis komt, ... in wezen dezelfde (moet) zijn als waarlangs de natuurkundige wetenschap tot kennis komt" [2]). De experimenteel gegroeide wetenschap der mechanica moet worden onderwezen langs experimenteelen weg; zoo kan men zonder gevaar voor verwrongen wedergave de meening van de Nederlandsche Natuurkundige Vereeniging kort samenvatten.

---

[1]) L. c. 6.

Is het nu echter juist, dat de mechanica ontstaan is als een experimenteele natuur-wetenschap, d.w.z. als een wetenschap, die de natuur bestudeert aan de hand van experimenten, die dus natuurverschijnselen doet verloopen onder opzettelijk gekozen omstandigheden met het doel, die verschijnselen met zoo groot mogelijke nauwkeurigheid en in zoo zuiver mogelijken vorm waar te nemen en de daaraan te onderscheiden grootheden zoo exact mogelijk te meten? Het is deze vraag, die ik hier wil behandelen.

En wel, om haar met nadruk ontkennend te beantwoorden. De historie leert, voorzoover ik heb kunnen nagaan, dat het menschelijk intellect altijd in hooge mate de neiging heeft vertoond, om, waar het de vraagstukken van rust en beweging betrof, te werk te gaan op rationalistische, mathematische, zoo men wil scholastische wijze, dat het zich altijd weer tevreden heeft gesteld met een geringe hoeveelheid ruwe ervaring, om met versmading van de hulp, die waarneming en meting zouden hebben kunnen bieden, zoo spoedig mogelijk te komen tot een zuiver redeneerende behandelingswijze, die in de meetkunde van Euclides haar ideale voorbeeld zag, dat het experiment daarbij slechts een geringe rol heeft gespeeld, dat namelijk, als er geëxperimenteerd is, dit voornamelijk achteraf is geschied, ter illustratie, ter bevestiging, ter controle van de langs rationalistischen weg verkregen waarheden en dat het experiment nooit die ongemeen bevruchtende werking op de ontwikkeling der mechanica heeft uitgeoefend, die er in de 19e en 20e eeuwsche physica zoo vaak van is uitgegaan.

Om de hiermee uitgesproken stelling volledig te bewijzen, zou men een volledige geschiedenis van de Mechanica moeten schrijven. Ik moet me hier beperken en volsta dus met enkele aanduidingen van de wijze, waarop men zich van hare juistheid kan overtuigen.

Wanneer de mechanica werkelijk op experimenteele basis is gegroeid, mag men verwachten, dat er een niet geringe vermaardheid eigen zal zijn aan de waarnemingen en metingen, waaruit hare fundamenteele wetten zijn afgeleid. Men mag dus bijvoorbeeld vragen, uit welke metingen, aan vallende lichamen verricht, de valwetten zijn gevonden, welke experimenten aanleiding hebben gegeven tot de vorming van het massabegrip en de zuivering van het krachtbegrip, tot het inzicht in de evenredigheid van massa en gewicht, tot de kennis van de traagheidswet, van het verband van kracht en verandering van hoeveelheid beweging, waar men

HISTORISCHE BIBLIOTHEEK VOOR DE EXACTE WETENSCHAPPEN.

De groeiende belangstelling in de historische ontwikkeling der wis- en natuurkundige wetenschappen, die in onzen tijd zoowel in de kringen van het Hooger als in die van het Gymnasiaal en Middelbaar Onderwijs valt waar te nemen, wordt in hare volledige ontwikkeling belemmerd, doordat in den regel noch in het onderwijs aan onze Universiteiten en Hoogescholen, noch in de gangbare leer- en handboeken aan de wetenschapsgeschiedenis voldoende aandacht wordt geschonken. Wij hebben gemeend, een bescheiden poging te moeten doen, in deze leemte eenigszins te helpen voorzien en hebben daartoe het plan ontworpen, een Historische Bibliotheek voor de Exacte Wetenschappen uit te geven, die in deeltjes van beknopten omvang monographieën over historisch belangrijke onderwerpen, biographieën van groote onderzoekers en toegelichte uitgaven van klassieke werken en verhandelingen zal brengen.

Gelukkig vonden wij den heer Noordhoff bereid, om het werk, dat hij reeds sedert vele jaren heeft gedaan in het belang der mathematische wetenschappen en dat hij sinds kort begonnen is te doen in dat der physische, uit te breiden op het gebied van de geschiedenis van beide. Wij betuigen hem onzen dank en onze hulde voor dit nieuwe blijk van zijn ondernemingsgeest en van zijn vertrouwen in den ernst, waarmee in Nederland de studie der wis- en natuurkunde wordt bedreven.

Ter inleiding van de nieuwe uitgave laten wij thans een nadere uiteenzetting volgen van het doel, dat ons voor den geest staat en van de middelen, waardoor wij het willen bereiken.

Het streven naar historische ontwikkeling als onmisbaar bestanddeel van een wetenschappelijke vorming op mathematisch-physisch gebied kan voort komen uit motieven van verschillenden aard, die echter in hoofdzaak in tweeën te onderscheiden zijn: het eerste is de wensch naar reconstructie van

verleden tijdperken uit de geestesgeschiedenis der menschheid, die den met historischen aanleg begiftigde ook dan belangstelling inboezemt, wanneer er geenerlei verband is aan te toonen tusschen de gedachtenwereld, die hij onderzoekt en die, waarin zich het huidige wetenschappelijke denken beweegt; het tweede de behoefte, de tegenwoordige structuur der wis- en natuurkundige wetenschappen te zien, niet als een in den tijd geïsoleerd en voor ons uitsluitend belang hebbend verschijnsel, maar als een phase in de ontwikkeling van een geleidelijk wordingsproces, om daardoor eenerzijds het inzicht in de tegenwoordige denkwijzen te verdiepen en anderzijds beter de onoverzienbare beteekenis te beseffen, die deze wetenschappen voor de West-Europeesche cultuur bezitten.

Wij meenen niet ver mis te tasten, wanneer wij onderstellen, dat het tweede motief in onzen tijd in veel hoogere mate werkzaam is, dan het eerste; wij beleven een periode van bezinning op het wonderlijke proces, dat zich in ons voltrekt, wanneer wij het tooverwerktuig der mathesis hanteeren, een periode van omwenteling in onze meest fundamenteele begrippen over ruimte, tijd en materie en over de wijze, waarop wij de natuurverschijnselen met behulp van die begrippen trachten te beschrijven en wij worden door de problemen, die daarbij rijzen, telkens weer geprikkeld tot de vraag, hoe toch al onze denkwijzen, onze begrippen, onze termen zijn gegroeid tot den staat, waarin wij ze thans met verwondering, twijfel en kritiek zien verkeeren.

Zonder nu ook maar in het minst het bestaansrecht der eerst geschetste, zuiver historische, opvatting der wetenschapsgeschiedenis in twijfel te willen trekken, meenen wij goed te doen bij den opzet onzer Historische Bibliotheek in de eerste plaats met het tweede der boven onderscheiden motieven rekening te houden en dus onderwerpen ter behandeling te kiezen, waarvan de problemen nog in onzen tijd actueel zijn of waarvan de historische invloed zoo machtig is geweest, dat het voor het volledig begrip van de huidige structuur der wetenschap noodzakelijk is, er kennis van te nemen. Beide gezichtspunten komen reeds tot uiting in de keuze der deelen, waarmee de reeks zal worden geopend; in het eerste daarvan geeft de eerste onder-

geteekende het eerste deel van een studie over en een bloemlezing uit de Elementen van Euclides, die in onzen tijd de aandacht trekken als oudst bewaard gebleven poging tot axiomatiseering der wiskunde en die daarnaast op de bewijsmethoden en de terminologie der elementaire wiskunde een onuitwischbaren stempel hebben gedrukt, terwijl het tweede, van de hand van den tweeden ondergeteekende, een inleiding in de voor de moderne ontwikkeling der wis- en natuurkunde zoo uiterst belangrijke Niet-Euclidische Meetkunde op historischen grondslag bevat.

Legden wij in het bovenstaande vooral den nadruk op de waarde, die naar onze meening kan worden gehecht aan historische ontwikkeling als bestanddeel van wetenschappelijke vorming, niet minder belangrijk achten wij haar invloed in de voorbereiding op en de uitoefening van het ambt van docent, dat een groot deel van de studeerenden in wis- en natuurkunde geroepen is te vervullen. Niet alleen, omdat de wijze, waarop een docent zijn ambt bekleedt, nauw samenhangt met zijn wetenschappelijke ontwikkeling, maar ook, omdat vertrouwdheid met de historie van het vak, dat hij doceert, een hulpmiddel kan zijn bij de oplossing van de didactische moeilijkheden, die hij daarbij ondervindt.

Men versta dit niet aldus, dat wij zouden willen aanbevelen, om van het onderwijs steeds een soort copie van den historischen groei der gedoceerde wetenschap te maken. Er zijn gevallen, waarin het zeer is aan te bevelen, den leerling de phasen van ontwikkeling te laten doorloopen, die het wetenschappelijk denken eens doorloopen heeft; er zijn andere, waarin het bepaald is af te raden. Men kan dus zeer zeker de historie steeds om raad vragen in didactische moeilijkheden, maar men moet er op voorbereid zijn, dat zij soms zal zeggen: doe het zoo; andere keeren met nadruk: doe het zoo niet; en dat zij er soms het zwijgen toe zal doen.

Dit neemt nu echter niet weg, neen, het sluit in, dat de docent in ieder geval de historie van zijn vak nauwkeurig moet kennen, niet, om haar overal, waar er maar aanleiding toe is, bij zijn onderwijs te pas te brengen, ook niet, omdat het zoo belangrijk is, met de chronologie van de wetenschapsgeschiedenis nauw-

keurig op de hoogte te zijn, maar omdat de historie hem op mogelijkheden wijst, voor gevaren waarschuwt, fouten doet begrijpen, die eerst individueele gebreken van den leerling schijnen, maar die bij aandachtiger beschouwing zwakheden blijken te zijn, die inhaerent zijn aan het menschelijk denken, omdat ze de oude dingen plaatst in den glans van bekorende nieuwheid, die ze omgaf bij hun ontdekking en omdat ze, wat nu afgezaagde schoolsche kennis is, doet zien in zijn cultuurhistorische beteekenis.

Wij zouden ons gelukkig prijzen, indien wij door de uitgave van de Historische Bibliotheek iets in den hier aangeduiden zin ten behoeve van het onderwijs in wis- en natuurkunde konden doen.

Over de aanhangige plannen tot voortzetting der met de twee bovengenoemde deelen en met het tweede deel van het eerst aangekondigde aangevangen reeks kunnen we thans nog niets meedeelen; uit den aard der zaak hangt de kans op hun verwezenlijking in hooge mate af van den aftrek, dien de eerste deelen zullen vinden.

En hiermede bevelen wij de Historische Bibliotheek in de belangstelling van vak- en ambtgenooten aan.

E. J. DIJKSTERHUIS, Oisterwijk.

H. J. E. BETH, Deventer.

---

door metingen de leer van het hefboomevenwicht, van het parallelogram van krachten en van het hellend vlak heeft gevonden, hoe men langs experimenteelen weg tot de opstelling van het principe van behoud van mechanisch arbeidsvermogen is gekomen, tot de wetten van de botsing en van de centripetale kracht bij de cirkelbeweging en men zal zoodoende nog slechts een klein deel gevraagd hebben van wat men vragen kan en mag.

Het is zeer te betreuren, dat het Bestuur van de Nederlandsche Natuurkundige Vereeniging ter toelichting van haar tegenover den Minister uitgesproken bewering, dat de Mechanica ten allen tijde een onderdeel van de Natuurkunde is geweest, deze vragen niet heeft beantwoord; het zou daardoor niet alleen het ingenomen standpunt beter hebben verdedigd, dan thans het geval is geweest, maar het zou tevens een nieuwe aera hebben geopend in de geschiedschrijving van de mechanica. Nu dat niet geschied is, moge hier althans getracht worden, in het kort het antwoord te schetsen, dat met den huidigen stand der wetenschapsgeschiedenis strookt.

Men moet dan zeggen [5]), dat de leer der eenparig veranderlijke beweging, nog zonder toepassing op den vrijen val, ontstaan is uit scholastische speculaties over de geleidelijke verandering van qualiteiten, en dat het voor de Parijsche scholastici van de 16e eeuw reeds tot de traditioneele waarheden schijnt te hebben behoord, dat de snelheid van den vrijen val een voorbeeld is van een eenparig veranderlijke qualiteit. Als we bij Galilei de kennis van het verband van weg en tijd voor den vrijen val uit rust (die hij reeds bezit, voordat hij weet, dat de snelheid evenredig is met den sedert het begin der beweging verstreken tijd) opnieuw aantreffen, dan blijkt niet duidelijk, hoe hij deze kennis verworven heeft, of hij haar heeft geput uit scholastische bronnen of dat hij werkelijk, zooals hij later zelf aanduidt, op grond van het vermoeden, dat de kogelbaan een parabool is, tot het inzicht is gekomen, dat in dat geval ook in den vrijen val de in verticale richting afgelegde weg evenredig zou moeten zijn met het quadraat van den tijd. Er is echter geen aanleiding, om aan te nemen, dat hij deze wet uit experimenten zou hebben afgeleid; in de Discorsi worden weliswaar proeven met de hellende valgoot vermeld, maar deze zijn verricht ter verificatie van

[1]) Zie voor het volgende: E. J. Dijksterhuis, Val en Worp, Een Bijdrage tot de geschiedenis der Mechanica van Aristoteles tot Newton. P. Noordhoff, Groningen, 1924.

de langs mathematischen weg uit de ondersteIde evenredigheid van snelheid en tijd afgeleide valwet en ze dienen slechts om nadere kracht bij te zetten aan de algemeene beginselen, die den grondslag van den verderen, zuiver mathematischen opbouw zullen vormen [1]. Men merke bovendien op, dat een dergelijk experiment in den opbouw der mechanica een geheel andere rol speelt, dan volgens de officieele theorie van de experimenteele physica het geval behoorde te zijn. Die theorie (die trouwens zelden uitkomt) eischt de volgorde: waarneming, begripsvorming en opstelling van hypothesen, trekken van conclusies, verificatie dezer conclusies door nieuwe experimenten. Bij Galilei daarentegen staat de mathematische theorie voorop; het experiment bevestigt de juistheid van een fundamenteele stelling (en het is een enorm verschil, of men heuristisch dan wel verifieerend experimenteert!) en van verdere experimenteele controle der theorie wordt niet gerept. Het moderne physica-onderwijs wil nu, gelijk bekend is, bij de behandeling van de valbeweging deze volgorde omkeeren. Het leerplan van de commissie-Fokker [2]) spreekt van experimenteele versnellingsbepaling langs het hellend vlak, gevolgd door extrapolatie tot 90° (Vrije val) en tot 0° (traagheidswet). Het doel is hierbij blijkbaar niet alleen, zooals er staat, de grootte der versnelling te bepalen, maar ook, om eerst aan te toonen, dat de valbeweging langs het hellend vlak eenparig versneld is en zelfs (wat er ook niet staat, maar wat mij toch in de lijn der ontwikkelde denkbeelden lijkt te liggen) het begrip van een eenparig versnelde beweging aan de hand van valproeven eerst te ontwikkelen, inplaats van het in zuiver kinematische behandeling voorop te stellen. Men kan nu over de meerdere of mindere wenschelijkheid van deze methode van meening verschillen, maar de voorstanders mogen zich toch vooral hoeden voor de illusie, dat men langs dezen weg het doel zou bereiken, den leerling nog eens de paden te laten doorloopen, waarlangs de natuurkundige wetenschap zich eens bewoog.

Dit is vooral een illusie, waar het de genoemde extrapolaties betreft, die volkomen onhistorisch zijn. Bij Galilei staat de vrije val voorop; de valproeven langs een hellend vlak dienen eigenlijk

---

[1]) Discorsi, Giornata Terza. Opere (Ed. Naz.) VIII, 212.... li quali con sensate esperienze confermano i principii loro, che sono i fondamenti di tutta la seguenta struttura.

[2]) L. c. 14 en 52.

alleen ter illustratie van een eenparig veranderlijke beweging; het quantitatieve verband tusschen de bewegingen langs de helling en in de verticaal wordt langs een heel anderen weg gelegd, namelijk op grond van het postulaat van de gelijke eindsnelheden (in wezen dus op grond van het energieprincipe). De afleiding van de traagheidswet door extrapolatie tot 0° komt al evenmin bij Galilei voor; ze is afkomstig van Mach[1]), die haar ten onrechte aan Galilei toeschrijft.

Terugkeerend tot de boven gestelde vragen, moeten we den oorsprong van de moderne begrippen kracht en massa, van het inzicht in de evenredigheid van massa en gewicht, van de kennis van de traagheidswet en van het verband van kracht en verandering van hoeveelheid beweging voornamelijk zoeken in de langdurige pogingen, om de leer der valbeweging te axiomatiseeren. Van experimenten blijkt daarbij zoo goed als niets: de eerste, die een dynamische theorie der valbeweging tot stand brengt, Beeckman, heeft zelfs genoeg aan een aprioristisch traagheidsbeginsel en de ruwe ervaring, dat lichamen versneld vallen. Huygens heeft wel eens een valtoestel geconstrueerd, maar in zijn theorieën over de valbeweging maakt hij daarvan niet het minste gebruik. En Descartes, die tot het speciale gebied der valbeweging weliswaar niet veel heeft bijgedragen, maar die niettemin op de ontwikkeling der Mechanica een grooten invloed heeft uitgeoefend, zoekt de rechtvaardiging van de algemeene principes, waarmee hij de Natuur axiomatiseert, niet in een overeenstemming met de te wantrouwen ervaring, maar uitsluitend in de evidentie, die ze in het licht der zuivere rede bezitten.

Het experiment speelt intusschen een rol bij de mindere goden. Terwijl Huygens[2]) ronduit verklaart, dat hij niet inziet, waartoe valproeven nog zouden kunnen dienen, omdat hij het resultaat al veel zekerder weet, dan het ooit mogelijk zou zijn, het te meten (en waren het misschien andere metingen geweest, die hem die zekerheid gaven?), vindt Riccioli bij zijn proeven te Bologna de valwet van Galilei bevestigd met een nauwkeurigheid, die te groot is, om nog overtuigend te kunnen werken. En evenmin als hij dragen Gassend en de Accademia del Cimento met hun worp-

---

[1]) E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt. Leipzig (Brockhaus) 1912; blz. 131.
[2]) Brief van 16 Sept. 1661. Oeuvres III, 320—321.

proeven op varende schepen en galoppeerende paarden of Mersenne met zijn verticaal gericht kanon iets wezenlijks tot de ontwikkeling van de Mechanica bij.

Ik noemde nog de leer van het hefboomevenwicht en van het hellend vlak [1]), waarbij men dadelijk aan Aristoteles denkt met zijn volkomen rationalistische behandeling van den hefboom op grond van het principe der virtueele snelheden, dat hij ontleent aan het vicieuse principe der peripatetische dynamica, aan Archimedes met zijn axiomatische statica, welker postulaten op grond van de meest onopzettelijke ervaring kunnen worden toegegeven, aan Leonardo da Vinci, den artist en ingenieur, den man van de practijk, die niettemin op het gebied der Mechanica een getrouw volgeling van Aristoteles blijkt te zijn, aan Jordanus Nemorarius en den Voorlooper van Leonardo, die het hellend vlak behandelen met behulp van het principe van den virtueelen arbeid. Van experimenteele onderzoekingen blijkt weer niets. Men zal wellicht op Stevin willen wijzen. Maar is de beroemde redeneering met de ketting over den verticalen driehoek [2]) soms een experiment? Maakt men zich wellicht zorgen erover (wat men bij een echte proef toch doen zou) of de schakels niet in den punt van den driehoek zullen blijven haken, voor men uit het uitblijven van beweging tot de verhouding der „staltwichten" durft besluiten?

Het is duidelijk, dat men zoo nog lang door zou kunnen gaan. Telkens weer treft men de neiging aan, de mechanica met behulp van mathematische methodes op te bouwen op algemeene principes, welke hun rechtvaardiging veelal slechts vinden in de evidentie voor de zuivere rede, die Descartes uitdrukkelijk voldoende noemt; als een tak der experimenteele natuurwetenschap vindt men haar zelden of nooit beschouwd.

En deze behandelingswijze, die in wezen nog voortleeft in het huidige mechanica-onderwijs, heeft haar waarlijk niet geschaad. Men vergelijke toch eens den toestand, waarin tegen het midden van de 18e eeuw de mechanica verkeert met dien van de chemie of de electriciteitsleer, beide gebieden, waarop het niet mogelijk is gebleken, met weinig ervaring en veel mathematisch vernuft kennis

---

[1]) Zie voor het volgende: P. Duhem, Les Origines de la Statique. 2 vol. Paris (Hermann) 1905—1906.

[2]) S. Stevin, De Beginselen der Weeghconst. Leijden (van Raphelingen). 1584. Vertoogh XL, Voorstel XIX.

van de natuur te voorschijn te brengen. In denzelfden tijd, dat de mechanica, voortbouwend op het werk van Newton, reeds opstijgt tot het peil, waarop Lagrange en Laplace hun onsterfelijke werken zouden scheppen, experimenteeren de physici nog met geëlectrificeerde hengelaars in touwen van verschillende kleuren opgehangen [1]) en is de Chemie nog volkomen verstrikt in het warnet van ongeordende kennis en vage begrippen, waaruit ze zich eerst na Lavoisier langzamerhand zou beginnen te bevrijden. Pleit deze vergelijking niet voor de opvatting, dat er in de Mechanica toch blijkbaar iets is, wat haar van die deelen der physica, die geheel op experimenteele basis zijn gegroeid, onderscheidt, een onmiddellijke vatbaarheid namelijk voor mathematische behandeling, die haar meer tot wiskunde der bewegingsverschijnselen stempelt, dan tot mathematisch behandelde physica.

Ik voel natuurlijk heel goed het hoogst fragmentarische karakter der bovenstaande beschouwingen; ze zijn niet toereikend, om de wordingsgeschiedenis der Mechanica ook maar eenigszins volledig te schetsen, nog minder, om haar wonderlijke wezen zelfs maar in het ruwe te beschrijven. Maar ze zijn, meen ik, wel toereikend, om aan te toonen, dat het Bestuur van de Nederlandsche Natuurkundige Vereeniging met haar tegenover de hoogste onderwijsautoriteit van ons land gedane uitspraak, dat de mechanica ten allen tijde een onderdeel der natuurkunde is geweest, een bewering heeft opgesteld, die, zoo ze werkelijk iets beteekent, een volstrekte onjuistheid moet worden genoemd.

Het zal overigens duidelijk zijn, dat het geheele bovenstaande betoog een zuiver negatieve strekking heeft. Het feit, dat de mechanica gegroeid is als aprioristische geesteswetenschap [2]) behoeft niemand te beletten, haar als experimenteele natuurwetenschap te behandelen, indien hij meent, dat dit didactisch beter is. Of die methode inderdaad aanbeveling verdient, zal ter anderer plaatse in dit nummer worden besproken. Doel van dit artikel was slechts, om aan de voorstanders van de experimenteele methode het historische argument, waarvan zij zich gaarne bedienen, te ontnemen.

E. J. Dijksterhuis.

---

[1]) P. van Musschenbroek, Beginsels der Natuurkunde, Leiden (Luchtmans) 1739, I, 274.

[2]) Ter voorkoming van misverstand moge hier worden opgemerkt, dat in het bovenstaande overal uitsluitend over de mechanica van Newton gesproken wordt.

DE MECHANICA ALS AFZONDERLIJK LEERVAK OP DE HOOGERE BURGERSCHOOL

DOOR

J. H. SCHOGT.

In den laatsten tijd is het streven duidelijk merkbaar, om de theorётische mechanica als leervak der hoogere burgerschool te doen verdwijnen; dit is voor mij eene aanleiding eene poging te doen om de beteekenis en de onmisbaarheid van de mecanica in het licht te stellen.

De mechanica heeft tot onderwerp de bewegingsverschijnselen, moet dus de wetten, volgens welke de bewegingen geschieden, wiskundig formuleeren, en moet daartoe gebruik maken van zekere begrippen, die in weinig exacten vorm gemeengoed zijn, maar die, voor zij in de wiskundige formuleering eener natuurwet kunnen worden gebruikt, *gedefinieerd* moeten worden; voorts moet zij den onderlingen invloed der bewegingsverschijnselen onderzoeken. Dit laatste doet zij door het opstellen van natuurkundige hypothesen, dus van eene physische *theorie*. Deze theorie stelt ons in staat, het gebruik van zekere uitdrukkingen (kracht, massa) te rechtvaardigen. Dit behoort in hoofdzaak den inhoud van het mechanica-onderwijs te vormen; dat ten onrechte dit onderwijs wel eens ontaardt in rekenwerk en vraagstukkenmakerij laat ik verder ter zijde.

Naar algemeen (en voor zoover ik weet, terecht) wordt aangenomen, is Nederland het eenige land waar de mechanica als afzonderlijk leervak behandeld wordt. Men tracht deze omstandigheid wel eens te gebruiken als een argument tegen de afzonderlijke behandeling, maar het komt mij voor, dat hier een gelukkige middenweg gekozen is tusschen de (Duitsche) richting, die in mechanica slechts een onderdeel der natuurkunde ziet, en de (Fransche) richting, die de mechanica als een onderdeel van de wiskunde beschouwt. Het is duidelijk, dat, (bij de gebruikelijke beteekenis van het woord „natuurkunde”), de kinematica nog als onderdeel der wiskunde beschouwd kan worden, de dynamica zeker

niet meer. De kinematica als onderdeel der wiskunde beschouwen beteekent afzien van eene analyse van de begrippen „tijd" en „gelijktijdigheid"; bij het middelbaar onderwijs zal men dit zeker doen. De dynamica zal echter ook op de H.B.S. niet als eene wiskundige theorie mogen worden behandeld, omdat dit zou beteekenen afzien van een onderzoek naar de beteekenis der vaak gebruikte termen kracht, massa, enz. Dit gebeurt in Frankrijk (althans indien men zich aan de instructies houdt). Volgens het programma van 1925 is het onderwijs in de Classe de Mathématiques spéciales wat betreft het vak Mathématiques gesplitst in: I. Algébre et analyse; II. Géométrie analytique; III. Géométrie descriptive; en IV. Mécanique, welk laatste gedeelte weer is onderverdeeld in cinématique en statique et dynamique. Bij het laatste onderdeel staat uitdrukkelijk aangeteekend: Il ne sera soulevé aucune difficulté sur les principes de la mécanique. On admettra qu'une force appliquée à un point matériel est égale géométriquement au produit de la masse du point par l'accélération qu'elle lui imprime et que, si plusieurs forces agissent sur un point, l'accélération qu'elles lui impriment est la somme géométrique des accélérations que chacune d'elles lui imprimerait si elle agissait seule sur lui [1]).

Het zal duidelijk zijn, dat, wanneer men zich in Frankrijk aan boven geciteerde instructie houdt, de mechanica niet tot haar recht kan komen, maar de physische inhoud van het vak verdwijnen zal onder de wiskundige formules.

Het onderbrengen der mechanica bij het natuurkundeonderwijs brengt andere bezwaren mede. Hier loopt namelijk de exacte formuleering gevaar. De eenigszins losse schrijftrant der natuurkunde-leerboeken is geenszins geschikt voor de beschrijving der mechanische grondbegrippen, zij is in de mechanica hinderlijker dan in andere deelen van de natuurkunde. Dit staat in verband met het essentieele verschil tusschen mechanica eenerzijds en de overige deelen der (school)physica anderzijds; het verschil dat door sommigen zoo hardnekkig ontkend wordt, namelijk de geringe rol die het experiment in de theoretische mechanica speelt, de overbodigheid van experimenten bij de behandeling van mechanische

---

1) Enseignement secondaire. Horaires, programmes, instructions, p. 318 noot (Paris, Librairie Armand Colin).

(speciaal kinematische) begrippen. In een vorig artikel heeft Dr. Dijksterhuis dit belangrijke punt historisch belicht. — Dit bezwaar wordt nog grooter doordat sommige schrijvers van natuurkunde-leerboeken er blijkbaar een eer in stellen, zoo weinig mogelijk van wiskunde gebruik te maken, uit angst dat hun betoogen door lezers met weinig onderscheidingsvermogen voor wiskunde zouden worden aangezien. Daardoor vervallen ook zij, die het voornemen hadden, eens voor goed met eene bijzondere schoolphysica af te rekenen, waar het de mechanica betreft telkens weer in de oude, zeer onwetenschappelijke redeneeringen [1]). Dat de moeilijkheid, die eene behandeling der mechanica zonder de noodige exactheid meebrengt, ook in Duitschland wel wordt ingezien, kan blijken uit een artikel van Dr. W. Lietzmann in den eersten jaargang van het Bijvoegsel van het N. T. v. W. Hij spreekt daarin over „jenen unstrengen, um nicht zu sagen mystischen Zugang mit unendlich kleinen Grössen, mit absoluten und relativen Nullen, mit rechtwinkligen Dreiecken aus unendlich kleinen Katheten, mit unendlich vielen dünnen Streifen, usf." en laat er dan op volgen: Leider begegnen uns derartige unklare, weil in sich widerspruchsvolle Begriffe gerade in demjenigen Gebiete, das von einer Infinitesimalrechnung den besten Nutzen ziehen kann, in der Physik, namentlich in der Mechanik [2]).

De geringe exactheid, waarmede de leerboeken der natuurkunde (en ook vele mechanica-leerboeken) de mechanica behandelen vormt vooral een groot bezwaar tegen het inlijven van de mechanica bij het natuurkunde-onderwijs, nu de waarborgen voor de wiskundige ontwikkeling der natuurkunde-docenten zoo gering geworden zijn, zoodat het te vreezen valt, dat de leeraar niet in staat is, de slordigheden en fouten van het boek te corrigeeren.

Ik wil niet beweren, dat het mechanica-onderwijs hier te lande op de hoogte staat, waarop het zou kunnen staan als gevolg van de gunstige omstandigheid, dat er afzonderlijke uren voor zijn uitgetrokken [3]), maar zou men het dit voordeel ontnemen, dan is de mogelijkheid van een gunstige ontwikkeling afgesneden.

Reeds eerder [4]) heb ik met instemming eene uitlating van den

---

[1]) Moll en Burger, Leerboek der Natuurkunde, § 4—21, passim.
[2]) Bijvoegsel N. T. v. W., I, 207.
[3]) Zie hierover mijn artikel in Bijv. N. T. v. W. II, pag. 54 e. v.
[4]) T. a. p. blz. 55, noot.

heer G. Bolkestein geciteerd, waarin voor de middelbare school noodzakelijk wordt geacht „een groote kern van verwante, elkander aanvullende en verduidelijkende vakken". Zulk een kern van elkander aanvullende en verduidelijkende vakken kan gevormd worden door wiskunde, mechanica, natuurkunde en kosmographie met nog eenige andere (scheikunde, natuurlijke historie, natuurkundige aardrijkskunde, misschien ook kristallographie, geologie en meteorologie), maar ik wil mij thans in het volgende beperken tot het viertal vakken: wiskunde, mechanica, natuurkunde en kosmographie, die thans alle vier op de H.B.S. B gedoceerd worden, en den onderlingen samenhang daarvan bespreken.

Alvorens daartoe over te gaan, wil ik echter de bijzondere instemming motiveeren, waarmede ik de bedoelde zinsnede gaarne aanhaal, daarbij dan natuurlijk in de eerste plaats denkende aan de hoogere burgerschool met vijfjarigen cursus B, en aan de kernvakken van die school.

Een belangrijk doel van het wiskunde-onderwijs, misschien het eenige, dat het geven van wiskunde-onderwijs aan leerlingen die dat vak later niet „noodig hebben" wettigt, is, het bevorderen van een juist gebruik der taal, en het geven van eene kritische geesteshouding. Men tracht dit o. a. te bereiken, door het geven van oefeningen in formuleering, en het laten bespreken van oplossingen, en door nauwkeurig de uitdrukkingswijze der leerlingen te becritiseeren. Het zal nu wel duidelijk zijn, dat men dit met des te grooter kans op succes zal doen, naarmate men zijne contrôle over een grooter gebied kan uitstrekken. En dit is in des te sterker mate het geval, naar gelang zich meer verwante vakken om de voor dit doel bij uitstek geschikte wis- en natuurkunde groepeeren. Het wel eens geopperde denkbeeld, om de wiskundige exactheid bij het middelbaar onderwijs te vergrooten, maar tegelijkertijd het gebied, waarover het peil der exactheid wordt verhoogd, te beperken, lijkt mij daarom verkeerd.

Nu is van alle deelen der natuurkunde de mechanica voor ons doel het geschiktst omdat daar, veel meer dan in de andere gedeelten der physica, het signifisch onderzoek van uit de omgangstaal bekende termen op den voorgrond staat.

Bezien wij thans het verband tusschen mechanica en wiskunde. Hierbij moeten wij, naar mij voorkomt, den blik naar de toekomst

wenden, en ons den toestand voor oogen trachten te stellen, dien wij gaarne bereikt zouden zien, namelijk dat niet ontwikkeling van de technische vaardigheid in de eerste plaats als doel gesteld wordt, maar het verkrijgen van inzicht in de theorie. Deden wij dit niet, maar keken wij meer naar het verleden, dan zouden wij als een argument voor het behoud der mechanica kunnen aanvoeren, dat het onderwijs in dat vak dat in de wiskunde steun geeft door het verschaffen van overvloedig oefenmateriaal. Toen ik een twintigtal jaren geleden leerling der H.B.S. was, en de voorbereiding voor het eindexamen het maken van heel wat vraagstukken vorderde, heb ik mijne vaardigheid in het rekenen en in het gebruik van stereometrische inhoudsformules kunnen vergrooten door het maken van zeer veel zwaartepuntsvraagstukken, en mijne bedrevenheid in het oplossen van goniometrische vergelijkingen door het maken van tallooze evenwichtsvraagstukken. Ik wil het voordeel van deze training volstrekt niet ontkennen, en het komt mij voor, dat, zoo de rekenvaardigheid van de leerlingen der hoogste klassen van de H.B.S. thans minder is dan eenige jaren geleden, een der oorzaken te vinden is in de afschaffing van het eindexamen in de mechanica, en dat het verschijnsel zich in nog sterkere mate zal openbaren als het vak niet meer bestaat.

Intusschen, ik vind den steun die de mechanica aan de wiskunde geeft in hoofdzaak op ander gebied. Eene wiskundig georiënteerde behandeling der kinematica (en eene andere is moeilijk denkbaar) eischt behandeling van de eerste beginselen van twee gedeelten der wiskunde: differentiaalrekening en vectoranalyse. Nu leert de leerling in de vectorrekening een nieuw soort grootheden kennen, getallen, zoo men wil, waarmede bewerkingen kunnen worden uitgevoerd: optelling, aftrekking, verschillende vermenigvuldigingen. Deze bewerkingen hebben grootendeels de bekende eigenschappen van commutativiteit, associativiteit en distributiviteit, echter met kleine afwijkingen. Het is zeer instructief, dit met de leerlingen na te gaan, temeer daar de eigenschappen (althans sommige) voor hen eenerzijds veel minder vanzelfsprekend zijn dan bijvoorbeeld bij de bewerkingen met negatieve of met gebroken getallen, en anderzijds veel gemakkelijker te bewijzen dan b. v. bij de bewerkingen met irrationeele getallen. De distributieve eigenschap naar den vectorfactor bij de vermenigvuldiging van een vector met een scalair getal

$$p(a+b) = pa + pb$$

is, naar mij voorkomt, een zeer fraai voorbeeld van een gemakkelijk te bewijzen grondeigenschap. Zoo geeft de mechanica aanleiding tot beschouwingen, die m. i. het begrip der bewerkingen met getallen zeer kunnen verhelderen.

Dat de mechanica de wiskunde dwingt, de beginselen der differentiaalrekening onder de leerstof der school op te nemen, kan m.i. ook niet anders dan heilzaam zijn. De beteekenis van het limietbegrip en de infinitesimaalrekening voor den modernen mensch is geschetst in de toelichting bij het ontwerp-leerplan der Commissie-Beth. [1]) Nu is het waar, dat bij elementaire algebra en meetkunde enkele voorbeelden van limiet-beschouwingen kunnen worden te pas gebracht (oneindig voortloopende meetkundige reeks, raaklijn, lengte van cirkelbogen, oppervlakte van cirkelsectoren) maar deze zijn te zeer geïsoleerd, dan dat zij het limietbegrip goed tot den leerling zouden kunnen doen doordringen; en bovendien geeft de schoolwiskunde weinig aanleiding tot beoefening der differentiaalrekening. De kinematica daarentegen geeft, zooals iedereen zal toegeven, de mooist denkbare voorbeelden van differentiaalquotienten.

Dezen steun zal de wiskunde moeten ontberen, als de mechanica niet meer afzonderlijk behandeld wordt. Maar de studie der bewegingsverschijnselen zal ook niet gebaat zijn met onderbrenging bij de natuurkunde. Onder de onderdeelen der physica neemt de mechanica ook daarom een afzonderlijke plaats, dat ze het eenige hoofdstuk is, dat reeds op de hoogere burgerschool eene theoretische behandeling toelaat, het eenige, waaraan de werkwijze der theoretische physica kan worden verduidelijkt. Nu is het m. i. steeds een der grootste moeilijkheden der theoretische natuurkunde, dat de beginnende beoefenaar (student, of leerling bij het M. O.) niet goed kan onderscheiden, welk deel eener beschouwing op natuurkundige hypothese en welk deel ervan op wiskundige deductie berust. Vooral bij het M. O. moet men zeer nadrukkelijk physische inductie van mathematische deductie scheiden. Voor de mechanica eischt dit behandeling der wiskundige hulpmiddelen in afzonderlijke hoofdstukken, dus van vectortheorieën en differentiaalrekening. Nu zal eerlang de differentiaalrekening wel bij de wiskunde onder-

---

[1]) Bijvoegsel van het N. T. v. W. II, blz. 127.

gebracht kunnen worden, maar de vectortheorieën hebben voor het M. O. te zeer het karakter van hulpmiddelen voor mechanica en physica, om ooit als onderdeel der wiskunde op de programma's voor te komen. Desniettemin zijn zij onderdeelen der wiskunde, en ik kan mij niet voorstellen, dat dit wiskundig karakter voldoende tot zijn recht komt, als de mechanica als onderdeel der natuurkunde wordt behandeld.

De *kosmographie* heeft steeds (en wel vooral voordat in 1920 het geven van eenigszins bevredigend onderwijs in dit vak onmogelijk werd gemaakt) in hoofdzaak de leer der bewegingen der hemellichamen van ons zonnestelsel tot onderwerp gehad. M. i. terecht. Het moge waar zijn, dat tegenwoordig de wetenschappelijke belangstelling vooral gericht is op de astrophysica en de stellaire astronomie, dit mag geen aanleiding wezen om aan beginnelingen de ouderwetsche bewegingskosmographie van ons zonnestelsel niet meer te onderwijzen.

De bewegingsproblemen, die de kosmographie stelt, zijn deels van kinematischen, deels van dynamischen aard. Bezien wij eerst de kinematische. Een voorbeeld van deze groep levert de vergelijking der omloopstijden van eene planeet. Men dient er den nadruk op te leggen, dat niet een der omloopstijden werkelijker is dan de andere, maar dat elke omloopstijd behoort bij een coördinatenstelsel, en twee verschillende omloopstijden, b.v. de siderische en de synodische, bij twee coördinatenstelsels, die t. o. v. elkander bewegen; het zoeken van het verband tusschen deze beide omloopstijden is een vraagstuk van samenstelling van rotaties. Ook de verschijnselen van parallaxis en aberratie zijn van kinematischen aard, al mag men niet vergeten te vermelden, dat er de natuurkundige hypothese aan ten grondslag ligt, dat de lichtvoortplanting rechtlijnig is t. o. v. de vaste sterren. De kosmographische toepassingen der kinematica zijn daarom zoo belangrijk en leerzaam, omdat niet, zooals bij aardsche bewegingsverschijnselen, eene omgeving aanwezig is, die men steeds stilzwijgend gebruikt om beweging en rust te beoordeelen.

Bij de toepassingen der dynamica is deze opmerking van nog grooter belang. Men denke daarbij allereerst aan de afleiding der wetten van Kepler, waaraan de hypothese ten grondslag ligt, dat de vaste sterren eene omgeving vormen, die een vast assenstelsel

in den zin der dynamica is, dus een assenstelsel, t. o. waarvan de betrekking $k = m \times a$ geldt. Een geheele groep van dynamische problemen vormen de zoogenaamde bewijzen voor de aswenteling der aarde. De waarneming leert, dat de vaste sterren als één geheel draaien t. o. v. de aarde, of, *wat hetzelfde is,* de aarde t. o. v. de vaste sterren. De leerlingen weten, uit de geschiedenis, dat er gestreden is over de vraag, wat nu in rust is, en wat beweegt. Is er dan gestreden over een vraag als deze: zit Jan vóór Piet of zit Piet achter Jan? Natuurlijk niet; de vraag moet stilzwijgend gepraeciseerd zijn. Maar dit kan niet aldus geschied zijn: is er eene omgeving t. o. waarvan de aarde draait en de sterren stilstaan? want zulk een vraag wordt natuurlijk dadelijk bevestigend beantwoord. Er moet dus een *bepaald* assenstelsel aanwezig zijn t. o. waarvan de aarde draait en de vaste sterren niet, en op de beweging t. o. v. dat stelsel wordt gedoeld, wanneer er sprake is van bewijzen voor de aswenteling der aarde. Het bedoelde assenstelsel is ook hier weder het vaste assenstelsel der dynamica. En de vraag moet als volgt gepraeciseerd worden: draait de aarde of draait het sterrenstelsel t. o. v. een assenstelsel waarvoor de betrekking $k = m \times a$ geldt? Deze opmerking verklaart, waarom de bewijzen voor de aardrotatie alle zonder uitzondering van dynamischen aard zijn, in tegenstelling met de bewijzen voor de beweging der aarde om de zon. Want de vraag: „beweegt de aarde om de zon of beweegt de zon om de aarde?" kan gepraeciseerd worden, nl. door toevoeging van de woorden „t. o. v. de vaste sterren", zoodat zij van kinematischen aard blijft. Deze beschouwingen lijken mij voor het inzicht der leerlingen van groot gewicht. Wat nu de bewijzen zelf betreft, zooals de valproeven van Benzenberg en Reich, de slingerproef van Foucault, en dergelijke, deze zou ik willen laten vervallen. Zij lijken mij veel te moeilijk voor het M. O., vooral omdat eene draaglijke behandeling toepassing van het theorema van Coriolis eischt, immers bij deze proeven is steeds sprake van bewegingen t. o. v. omgevingen, die t. o. van elkaar roteeren.

Het valt niet moeilijk, ook uit de natuurkunde verschillende onderwerpen op te noemen, die met mechanica in nauw verband staan: onderwerpen uit hydrostatica en hydrodynamica, stoom- en andere machines, velden-theorie, electrostatische potentiaal en derg.; onderwerpen bij welker behandeling kennis van de mechanica geëischt wordt.

Men zou echter kunnen opmerken, dat de talrijke toepassingen der mechanica, die men in de kosmographie en de natuurkunde aantreft, nog niet noodzakelijk maken, om de bewegingsverschijnselen als een afzonderlijk leervak te behandelen. Men zou kunnen denken aan eene incidenteele behandeling der mechanische onderwerpen bij hunne toepassingen. Maar dit zou toch een zeer onpractische stofindeeling zijn. De lessen in kosmographie of natuurkunde te onderbreken door beschouwingen over translatie en rotatie, over de traagheidswet, over de vaste assenstelsels, en dergelijke onderwerpen, is niet aan te bevelen: de aandacht van de leerlingen wordt niet voldoende op den samenhang der bewegingswetten gevestigd, en de continuiteit van de lessen in kosmographie of natuurkunde heeft ook te lijden. Daarom lijkt mij de eenig juiste weg die, welke hier te lande reeds tientallen jaren bewandeld is: de behandeling der bewegingsverschijnselen als een afzonderlijk leervak: de theoretische mechanica.

Ik vlei mij niet met de hoop, dat de samenstellers van het rapport over „Het onderwijs in de natuurkunde aan Gymnasia en Lycea" dit opstel met instemming zullen lezen. Maar zij zullen moeten toegeven, dat ik tot dusver het rapport niet bestreden heb. Inderdaad vind ik geen aanleiding, dit rapport voor zoover het op de mechanica betrekking heeft, te bestrijden, behalve op één zoo aanstonds te noemen punt. Of de voorgestelde behandeling aannemelijk is hangt nl. in sterke mate af van de wijze van uitvoering van het programma, en men (tenminste ik) kan uit het rapport niet steeds opmaken hoe de samenstellers zich de behandeling van speciale onderdeelen precies voorstellen. Er zijn wel enkele punten, die aanleiding tot ongerustheid geven [1]): zoo wordt de slingerproef van Foucault in het minimum van verplichte kennis gerangschikt, terwijl de stelling van Coriolis in de aanvullingskolom staat en van de theorie der meebewegende assenstelsels niet gerept wordt.

Het punt, dat ik zooeven bedoelde, en dat ik met nadruk zou willen bestrijden, is, dat in bedoeld rapport (blz. 37) twee uur per week in de vijfde klasse voldoende wordt geacht voor de behandeling der theoretische mechanica.

Ten eerste zal, als het onderwijs in de *theoretische* mechanica

---

[1]) Rapport, blz. 14 en 15.

eerst in de vijfde klasse aanvangt, er geen profijt van getrokken kunnen worden voor kosmographie en natuurkunde (voor de wiskunde misschien nog eenigszins) en ten tweede is twee uur per week geheel onvoldoende voor eene uiteenzetting van de kinematica en dynamica van stoffelijk punt en vast lichaam. (Dat aan dit onderwijs volgens de plannen der commissie-Fokker eene experimenteele inleiding zal voorafgaan, vergeet ik hierbij niet; ik kan echter niet inzien, hoe deze den theoretischen leergang merkbaar kan verlichten). Men moet hierbij niet uit het oog verliezen, dat het maken van vraagstukken (en dan liefst vraagstukken met meer mechanische dan wiskundige moeilijkheden) bepaald noodzakelijk is; ieder die het onderwijs aan de H. B. S. kent, zal dit onmiddellijk toegeven. Ik acht daarom 4 lesuren in de klassen IV en V noodig; wat de verdeeling betreft lijkt mij de door de commissie-Beth voorgestelde (3 in de vierde, 1 in de vijfde klasse) het beste. Alleen wanneer zij over 4 uren beschikt, kan de mechanica goed tot haar recht komen, en het verband met de andere natuurwetenschappen, *en ook met de wiskunde,* voldoende tot uiting worden gebracht.

DE KOSMOGRAPHIE OP DE HOOGERE BURGERSCHOOL

DOOR

J. H. SCHOGT.

In aansluiting aan wat ik in het vorige artikel omtrent de kosmographie heb opgemerkt, mogen hier nog enkele opmerkingen over dit vak een plaats vinden. Nieuw zijn zij in geen enkel opzicht, maar het kan geen kwaad, nogmaals de aandacht te vestigen op de verdrukking, waarvan de kosmographie te lijden heeft, nu zij in de vierde klasse gedurende één uur wordt gedoceerd.

Zooals ik reeds gezegd heb, lijkt het mij ongewenscht, de onderwerpen, die gewoonlijk in de kosmographie worden behandeld, te *vervangen* door onderwerpen uit de astrophysica. (Kon men die moderne onderwerpen na of naast de oudere behandelen, dan was er geen bezwaar tegen; maar ik kan mij niet voorstellen, dat men de verklaring der jaargetijden en de verduisteringen, de behandeling der opvattingen van Ptolemaeus, Coppernicus en Kepler zou willen nalaten, om tijd te winnen voor eene uiteenzetting der theorieën van Julius of Saha). Het volgende kan naar mij voorkomt ook de instemming hebben van degenen, die mijne meening op het punt der te behandelen onderwerpen niet deelen.

De thans vigeerende regeling doet het kosmographie-onderwijs in de vierde klasse beginnen en eindigen. Zoowel aan het eerste als aan het laatste zijn zeer groote bezwaren verbonden. Het begin van den leergang wordt gegeven vóór dat van de stereometrie iets meer dan de allereerste grondbeginselen behandeld is, terwijl van de optica, speciaal van de optische werktuigen, den leerlingen nog niets bekend is, en terwijl hun van de kinematica, in het bijzonder van de rotatiebeweging, en van de dynamische hypothesen, evenmin iets, anders dan zeer oppervlakkig, bekend kan wezen. Het is onmogelijk, alle onderwerpen, waarbij iets van de bovengenoemde dingen te pas komt, naar het eind van den cursus te verschuiven, juist omdat dit einde van den cursus reeds met het einde van het

vierde leerjaar komt. Het wordt dan ook erg moeilijk den leerlingen uit te leggen, welk eene enorme verbetering de invoering der kijkers gebracht heeft, wat de voordeelen van den kijker boven de oude vizierinrichting zijn. Het is onmogelijk, om op bevredigende wijze iets te behandelen van de dynamische bewijzen voor de aswenteling der aarde, zelfs kan men niet eens de coördinatenstelsels op den bol met eenigen steun van stereometrische kennis behandelen.

Wanneer men bij de behandeling der kosmographie de natuurkundige onderwerpen meer op den voorgrond brengt, zoodat anomale dispersie, ionisatie en leer van het scheikundig evenwicht bekend ondersteld moeten worden, zullen de moeilijkheden, waartoe de thans vigeerende regeling aanleiding geeft, er zeker niet minder op worden.

Dit alles wijst er m. i. op, dat het voorstel der commissie-Beth, om de kosmographie gedurende twee uren in de *vijfde* klasse te behandelen, alle aanbeveling verdient. Het is zeker niet gewenscht, zonder noodzaak in de vijfde klasse met de behandeling van een nieuw leervak te beginnen, maar het komt mij voor, dat die noodzaak in dit geval bestaat. Den ouden toestand herstellen, dus aan de kosmographie één uur in de vierde en één uur in de vijfde toekennen, lijkt mij niet gewenscht, omdat er in de kosmographie eigenlijk geen onderwerpen zijn, die men met leerlingen van de vierde klasse in het begin van den cursus naar behooren kan behandelen.
